

PAT-NO: JP02002214560A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002214560 A

TITLE: ACTUATOR

PUBN-DATE: July 31, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOKUDA, KAZUNARI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
OLYMPUS OPTICAL CO LTD	N/A

APPL-NO: JP2001013489

APPL-DATE: January 22, 2001

INT-CL (IPC): G02B026/10, H04N001/113

ABSTRACT:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an actuator which is hard to be damaged and deformed against the impact loads, such as fall.

**SOLUTION:** The actuator is equipped with a movable plate 102, a pair of torsion bars 104 being elastic members for supporting the plate 102, and a pair of fixing members 106 holding the torsion bars 104. The pair of torsion bars 104 are symmetrically and linearly extended from the both sides of the movable plate 102, and are terminated at the fixing member 106. The torsion bar 104 has fixed thickness, and has the width which is largest in both ends and smallest in the center and which linearly decreases as it approaches to the center from both ends. That is, in the area of the half of the length of the torsion bar 104, the torsion bar 104 has the cross section which continuously decreases as it approaches to the center from the edge.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】可動板と、これを支持するための弾性部材と、弾性部材を保持する固定部材とを備えており、弾性部材は、その長手軸に沿った位置に依存して変化する断面を有し、この断面は、両端において相対的に大きく、中央において相対的に小さい面積を有している、アクチュエーター。

【請求項2】弾性部材の断面は、両端から少なくとも弾性部材の長さの3分の1の範囲において、両端から中央に近づくにつれて連続的に減少する面積を有している、請求項1に記載のアクチュエーター。

【請求項3】弾性部材の断面は、両端から中央に近づく間に、段階的に減少する面積を有している、請求項1に記載のアクチュエーター。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光スキャナーや速度センサー等に用いられる板バネ構造体であるアクチュエーターに関する。

## 【0002】

【従来の技術】特開平10-123449号は、例えば半導体プロセスによって作製された板バネ構造体を用いた光スキャナーを開示している。そのような板バネ構造体であるアクチュエーターの基本構造を図21に示す。図21に示されるように、この種のアクチュエーターは、可動板102と、これを支持するための一対の弾性部材であるトーションバー104と、トーションバー104を保持する一対の固定部材106とを備えている。一対のトーションバー104は、可動板102の両側から対称的に直線的に延び、固定部材106で終端している。

【0003】このようなアクチュエーターを用いた光スキャナーでは、例えば、可動板102は、一方の面に形成された反射面と、反対側の面に形成された可動板102の周縁部を周回する駆動コイルとを有し、光スキャナーは、さらに、可動板102の両側に配置された一対の永久磁石を備えている。

【0004】駆動コイルへの交流電流の供給により、駆動コイルを流れる電流が永久磁石の作り出す磁場との相互作用によりローレンツ力を受ける結果、可動板102は、周期的に方向が替わる偶力を受けるため、二本のトーションバー104を通る揺動軸を軸にして振動する。その結果、可動板102の反射面で反射される光ビームは、一定の角度幅で周期的に走査される。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】このようなアクチュエーターが落下した場合、床に衝突した瞬間に加速度が加わり、可動板102はその質量に加速度を乗じた慣性力を受ける。その結果、弾性部材104は、慣性力の方向や大きさによっては、亀裂や断裂等が生じて破損してしまったり、破損まではいかなくとも、塑性変形を起こし

て特性が恒久的に変わってしまったりすることが考えられる。

【0006】アクチュエーターが、可動板102の表面を水平にして落下した場合、床との衝突による衝撃により、図22に示されるように、可動板102はたわみ変形を起こす。

【0007】また、アクチュエーターが、弾性部材104の軸方向を垂直にして落下した場合、一般に可動板102の重心位置は弾性部材104の軸から外れているため、床との衝突による衝撃により、図23に示されるように、可動板102は屈曲変形を起こす。

【0008】また、アクチュエーターが、弾性部材104の軸を水平に、可動板102の面を垂直にして落下した場合、一般に可動板102の重心位置は弾性部材104の軸から外れているため、床との衝突による衝撃により、慣性力が弾性部材104の軸に対してモーメントとして作用し、図24に示されるように、弾性部材104はねじれ変形を起こす。

【0009】実際の場面では落下による衝撃は任意の方向に加わるため、上に説明した3方向の慣性力が任意に組み合わせられて加わる場合を想定しなければならない。

【0010】本発明は、このような実状を鑑みてなされたものであり、その目的は、落下等による衝撃荷重に対して破損し難く変形もし難いアクチュエーターを提供することである。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明のアクチュエーターは、可動板と、これを支持するための弾性部材と、弾性部材を保持する固定部材とを備えており、弾性部材は、その長手軸に沿った位置に依存して変化する断面を有し、この断面は、両端において相対的に大きく、中央において相対的に小さい面積を有している。

【0012】ひとつの形態においては、弾性部材の断面は、両端から少なくとも弾性部材の長さの3分の1の範囲において、両端から中央に近づくにつれて連続的に減少する面積を有している。

【0013】別の形態においては、弾性部材の断面は、両端から中央に近づく間に、段階的に減少する面積を有している。

## 【0014】

【発明の実施の形態】弾性部材の破損は、フォンミーゼスの応力が許容値を超えた場合に起こると考えられる。複雑な応力状態でのフォンミーゼスの応力を解析的に求めるのは難しいが、コンピュータシミュレーションにより求めることができる。

【0015】フォンミーゼスの応力とは、材料の破損が単位体積あたりの剪断歪みエネルギーがある限界値に達したときに起こるというミーゼス-ヘンキーの説に基づき、3つの主応力から所定の式によって導かれる応力の次元の量である。

【0016】まず、通常の板バネ構造体あるいはアクチュエーターについて考える。アクチュエーターは、図25に示されるように、可動板102と、これを支持するための一対の弾性部材であるトーションバー104と、トーションバー104を保持する一対の固定部材106とを備えている。一対のトーションバー104は、可動板102の両側から対称的に直線的に延び、固定部材106で終端している。つまり、トーションバー104の各々は、可動板102と固定部材106の間に延びている。

【0017】通常のアクチュエーターでは、トーションバー104は、一定の厚さと一定の幅を有している。従って、トーションバー104の断面は、トーションバー104の長手軸に沿った位置に関係なく、常に同じ矩形の形状を有しており、その面積は一定である。

【0018】本明細書において、弾性部材あるいはトーションバー104の「長手軸」という用語は、可動板102と固定部材106の間においてトーションバー104が延びている方向を言うものとし、また、弾性部材あるいはトーションバー104の「断面」という用語は、

トーションバー104の長手軸に直交する断面を言うものとする。  
 【0019】可動板102は、2.2mmの長さ、2.7mmの幅、0.3mmの厚さを有している。可動板102の材質はシリコンである。トーションバー104は一端と他端を有しており、一端は、可動板102の一方の表面に幅の辺の中央において連結されており、他端は固定部材106に連結されている。弾性部材であるトーションバー104は、1mmの長さ、0.3mmの幅、7.5μmの厚さを有している。トーションバー104

の材質はポリイミドであり、30.5GPaのヤング率を有している。このアクチュエーターは、トーションバー104を軸とするねじり運動に対して、100Hzの固有振動数を有している。

【0020】このアクチュエーターを、可動板102を水平にして落下させて衝撃力を与えると、トーションバー104が変形を受け、固有振動数が低下するなどの特性変化を生じることが確認された。

【0021】このアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を図26に示す。シミュレーションは、可動板102の中央にxyz軸の3方向に等しく0.001Nの荷重が加わっているという条件のもとで行なった。図26のグラフは、片方のトーションバーにのみに着目しており、その横軸はトーションバーの軸方向の位置に対応しており、従って、グラフの横軸の両端はトーションバーの軸方向の両端に対応している。

【0022】図26から、フォンミーゼスの応力は、トーションバーの両端で大きく、中央で小さいことが分かる。これは、トーションバーの曲げにより発生する曲げ

応力が支配的であることを示している。両端に生じる最大値は、 $1.0 \times 10^8$  [Pa = N/m<sup>2</sup>]であった。

#### 【0023】第一実施形態

第一実施形態のアクチュエーターについて図1と図2を参照しながら説明する。本実施形態のアクチュエーターは、弾性部材がねじりバネすなわちトーションバーとして働くねじりアクチュエーターである。

【0024】図1に示されるように、板バネ構造体あるいはアクチュエーターは、可動板102と、これを支持するための一対の弾性部材であるトーションバー104と、トーションバー104を保持する一対の固定部材106とを備えている。一対のトーションバー104は、可動板102の両側から対称的に直線的に延び、固定部材106で終端している。つまり、トーションバー104の各々は、可動板102と固定部材106の間に延びている。

【0025】本実施形態のアクチュエーターでは、トーションバー104は、一定の厚さを有し、両端において最も大きく、中央において最も小さく、両端から中央に近づくにつれて直線的に減少する幅を有している。従って、トーションバー104は、長手軸に沿った位置に依存して幅が変化する矩形の断面を有しており、その面積は、長手軸に沿った位置に依存して連続的に変化する。つまり、トーションバー104の断面は、トーションバー104の長さの半分の範囲において、端から中央に近づくにつれて連続的に減少する断面を有している。

【0026】可動板102は、2.2mmの長さ、2.7mmの幅、0.3mmの厚さを有している。可動板102の材質はシリコンである。トーションバー104は一端と他端を有しており、一端は可動板102の一方の表面に幅の辺の中央に連結されており、他端は固定部材106に連結されている。トーションバー104は、1.0mmの長さ、8.0μmの一定の厚さを有している。トーションバー104は、可動板102および固定部材106と連結されている両端において最も広い0.346mmの幅を有し、両端の中央において最も狭い0.15mmの幅を有している。トーションバー104の材質はポリイミドであり、30.6GPaのヤング率を有している。このアクチュエーターは、トーションバー104を軸とするねじり運動に関して、100Hzの固有振動数を有している。

【0027】このアクチュエーターは、シリコンウェハから半導体プロセスを用いて作製される。以下、製作方法について説明する。シリコンウェハの上面にアルミを成膜した後、フォトエッチングによりトーションバーの形状にアルミをパターニングする。その上にトーションバー材料のポリイミド前駆体をスピンコートにより塗布し、ベーキングして硬化させる。

【0028】次に、シリコンウェハ下面に窒化シリコンを成膜した後、フォトエッチングにより可動板と固定部

材の形状に窒化シリコン膜をパターニングする。続いて、シリコンウェハの下面側をTMAHに接触させ、露出しているシリコンをエッチングにより除去する。これにより、可動板と固定部材の部分を除いて、シリコンが除去され、シリコンウェハの上面側に形成したアルミとポリイミドが露出する。

【0029】その後、シリコンウェハを下面側からRIEによりポリイミドをエッチングする。上述のトーションバーの形状にパターニングされたアルミ膜はRIEに対するマスクとして機能するため、それ以外の部分の露出しているポリイミドが選択的に除去される。こうして、本実施形態のアクチュエーターが得られる。

【0030】このアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を図2に示す。解析は、このアクチュエーターの可動板102の中央にxyz軸の3方向に等しく0.001Nの荷重が加わっているという条件のもとで行なった。図2において、実線は、本実施形態のアクチュエーターに関するフォンミーゼスの応力を示し、破線は、弾性部材の断面面積が一定の通常のアクチュエーターに関するフォンミーゼスの応力を示している。図26と同様、図2のグラフの横軸はトーションバーの軸方向の位置に対応している。

【0031】図2から分かるように、フォンミーゼスの応力は、やはりトーションバーの両端で最大値を有しているが、その値は $7.3 \times 10^7$  [Pa]に低下している。これから、本実施形態のアクチュエーターでは、図25に代表される弾性部材の断面面積が一定の通常のアクチュエーターと比較して、トーションバー104は同じねじり剛性を維持しながら、それに働く応力が分散されていることが分かる。

【0032】このアクチュエーターと通常のアクチュエーターに対して、落下に対する耐衝撃性の比較実験を行なった。実験は次のようにして行なった。アクチュエー\*

\*ターを2mの高さから、(xyz軸の3×正負の2=)6つの向きでタイルの床に落下させ、アクチュエーターの落下前後の固有振動数を測定した。

【0033】通常のアクチュエーターでは、トーションバーが破損してしまい、落下後の固有振動数は計測不能であった。本実施形態のアクチュエーターでは、落下前の100Hzに対して、落下後の固有振動数は99Hzであった。本実施形態のアクチュエーターは、落下による固有振動数の変化が1%に止まっており、耐衝撃性が改善されていることが確認された。

【0034】これまでの説明から、弾性部材を、長手軸方向の位置によらず一定の断面積を有する従来の形状から、長手軸方向の位置に対応して変化する断面積を有する新規な形状に変更することにより、フォンミーゼスの応力の最大値が低下され、フォンミーゼスの応力が平均化されることが理解できよう。

【0035】また、フォンミーゼスの応力の最大値の低下の程度、言い換えれば、フォンミーゼスの応力の平均化の程度は、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比に依存して変化する。

【0036】図4は、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が異なる複数のアクチュエーターに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。計算は、アクチュエーターはすべて同じ可動板を有するものとし、弾性部材のねじり変形の固有値も同じとなる条件で行なった。また、弾性部材の断面は矩形とし、厚さは一定、幅は図1のアクチュエーターと同様に変化するものとしている。

【0037】シミュレーションにより求めた弾性部材の寸法を表1に示す。表中の値は、図3に示される形状の弾性部材における、中央部の幅と、両端部の幅と、これらの断面積比とを一覧に示している。

【0038】

【表1】

断面積比	両端部の幅 [mm]	中央部の幅 [mm]
1	0.3	0.3
1.3	0.268	0.2
1.5	0.284	0.188
1.8	0.308	0.175
2.3	0.346	0.15
4.9	0.488	0.1

【0039】図4には、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が、それぞれ、1、1.3、1.5、1.8、2.3、4.9のアクチュエーターに関するフォンミーゼスの応力が図示されている。別の言い方をすれば、両端の最大の幅aと中央の最小の幅bの比が、それぞれ、1、1.3、1.5、1.8、2.3、4.9のアクチュエーターに関するフォンミーゼスの応力が図示されている。なお、この比が1のアクチュエーターは、図25の通常のアクチュエーターに相当している。

※【0040】図4から、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が大きくなるにつれて、両端における応力が低下し、全体的に平均化され、最大値が下がることが分かる。また、1.5以上の断面積比を有するアクチュエーターにおいては、一定の断面積を有する通常のアクチュエーターに比べて、2割以上の応力の最大値の低下が実現されていることが理解できよう。

【0041】なお、従来、例えば特開昭63-197911号に開示されているように、トーションバーの固定

部材及び可動板との接続部の角に小さくRを設けた構成の光スキャナが知られている。この様な構成の光スキャナを図5に示す。しかし、この角Rは半導体製造プロセスのエッチング工程によって必然的に形成されるものであり、落下衝撃等への耐久性向上を図る本願発明とは本質的に異なる構成である。

【0042】ここで、角Rを設けた従来の光スキャナと本実施の形態に係るアクチュエータに関してフォンミーゼスの応力を解析するシミュレーションを行なった結果を図6に示す。このシミュレーションにおいては、角Rを有する従来の光スキャナは、厚さ8 $\mu$ m、長さ1mmのトーションバーを有し、トーションバーの幅は、中央の0.9mmの部分で、0.22mmと一定であり、両端の0.05mmの部分において、R0.05mmの角Rが設けられているものとしている。また、可動板の寸法は前述の実施形態と同じとし、可動板の中央にxyz軸の3方向に等しく0.001Nの荷重が加わったものとしている。

【0043】このように角Rを設けた従来のスキャナの場合、曲率が付いている部分と平行な部分との境界において応力の集中が起きており、落下時における衝撃緩和の効果は不十分であることが分かる。

【0044】以上の説明から、本実施形態のアクチュエータは、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエータに比べて、トーションバーに働く応力が分散されるため、改善された高い耐衝撃性を有しており、従って落下等の衝撃に対して破損し難いということが理解できる。

【0045】本実施形態のアクチュエータは、半導体プロセスを用いて作製されるポリイミド製のトーションバーを有しているが、本発明は、同様の半導体プロセスを用いて作製されるシリコン製や窒化シリコン製のトーションバーを有するアクチュエータに適用されてもよい。また、半導体プロセスを用いず、シート状の材料をトーションバー形状に打ち抜き、これを別途用意した可動板と固定部材に接着して製作されるアクチュエータに適用されてもよい。

#### 【0046】第二実施形態

第二実施形態のアクチュエータについて図7と図8を参照しながら説明する。本実施形態のアクチュエータは、弾性部材がねじりバネすなわちトーションバーとして働くねじりアクチュエータである。

【0047】図7に示されるように、アクチュエータは、可動板102と、これを支持するための一对の弾性部材であるトーションバー104と、トーションバー104を保持する一对の固定部材106とを備えている。一对のトーションバー104は、可動板102の両側から対称的に直線的に伸び、固定部材106で終端している。つまり、トーションバー104の各々は、可動板102と固定部材106の間に伸びている。

【0048】本実施形態のアクチュエータでは、トーションバー104は、一定の厚さを有し、両端において最も大きく、中央において最も小さく、両端から中央に近づくにつれて二次関数的に減少する幅を有している。従って、トーションバー104は、長手軸に沿った位置に依存して幅が変化する矩形の断面を有しており、その面積は、長手軸に沿った位置に依存して連続的に変化する。つまり、トーションバー104の断面は、トーションバー104の長さの半分の範囲において、端から中央に近づくにつれて徐々に減少する面積を有している。

【0049】可動板102は、2.2mmの長さ、2.7mmの幅、0.3mmの厚さを有している。可動板102の材質はシリコンである。トーションバー104は一端と他端を有しており、一端は可動板102の一方の表面に幅の辺の中央に連結されており、他端は固定部材106に連結されている。トーションバー104は、1.0mmの長さ、8.0 $\mu$ mの一定の厚さを有している。これらは第一実施形態と同じである。

【0050】トーションバー104は、可動板102および固定部材106と連結されている両端において最も広い0.54mmの幅を有し、両端の中央において最も狭い0.13mmの幅を有している。トーションバー104の両側の辺は、円弧の一部から成っている。トーションバー104の材質はポリイミドであり、30.6GPaのヤング率を有している。このアクチュエータは、トーションバー104を軸とするねじり運動に関して、100Hzの固有振動数を有している。

【0051】このアクチュエータに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を図8に示す。解析は、このアクチュエータの可動板102の中央にxyz軸の3方向に等しく0.001Nの荷重が加わっているという条件のもとで行なった。図8において、実線は、本実施形態のアクチュエータに関するフォンミーゼスの応力を示し、破線は、比較例として、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエータに関するフォンミーゼスの応力を示している。

【0052】図8から分かるように、フォンミーゼスの応力は、両端と中央の間に一对のピークを有し、その最大値は $7.6 \times 10^7$  [Pa]に低下している。これから、本実施形態のアクチュエータでは、図25に代表される弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエータと比較して、トーションバー104は同じねじり剛性を維持しながら、それに働く応力が分散されていることが分かる。

【0053】図10は、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が異なる複数のアクチュエータに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。計算は、アクチュエータは全て同じ可動板を有するものとし、弾性部材のねじり変形の固有値もほぼ同じとなる条件で行なった。また、弾性部材の断面は矩形とし、厚さ

は一定、幅は図7のアクチュエータと同様の变化をするものとしている。表2にシミュレーションした弾性部材の寸法を示す。表中の値は、図9に示される形状の弾性部材における、中央部の幅と、両端部の幅と、これら部\*

\*分の断面積比とを一覧に示している。

【0054】

【表2】

断面積比	両端部の幅 [mm]	中央部の幅 [mm]
1	0.3	0.3
1.3	0.278	0.21
1.5	0.3	0.204
2.1	0.377	0.181
3.6	0.54	0.15

【0055】図10から、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が大きくなるにつれて、両端における応力が低下し、全体的に平均化され、最大値が下がることが分かる。また、1.5以上の断面積比を有するアクチュエータにおいては、一定の断面積を有するアクチュエータに較べて、2割以上の応力の低下が実現されていることが理解できよう。

【0056】従って、本実施形態のアクチュエータは、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエータに比べて、トーションバーに働く応力が分散されるので耐衝撃性が向上しており、落下等の衝撃に対して破損し

【0057】第三実施形態

第三実施形態のアクチュエータについて図11と図12を参照しながら説明する。本実施形態のアクチュエータは、弾性部材がねじりバネすなわちトーションバーとして働くねじりアクチュエータである。

【0058】図11に示されるように、アクチュエータは、可動板102と、これを支持するための一対の弾性部材であるトーションバー104と、トーションバー104を保持する一対の固定部材106とを備えている。一対のトーションバー104は、可動板102の両側から対称的に直線的に伸び、固定部材106で終端している。つまり、トーションバー104の各々は、可動板102と固定部材106の間に伸びている。

【0059】本実施形態のアクチュエータでは、トーションバー104は、一定の厚さを有し、両端において最も大きく、中央付近の一定区間においては一定で最も小さく、両端から中央付近の一定区間に近づくにつれて直線的に減少する幅を有している。従って、トーションバー104の断面は、中央付近の一定区間では一定だが、それ以外の区間では長手軸に沿った位置に依存して幅が変化する矩形の形状を有している。つまり、トーションバー104の断面積は、中央付近の一定区間では一定であり、両端付近の一定区間では長手軸に沿った位置に依存して連続的に変化する。トーションバー104の断面は、トーションバー104の長さの約3分の1の範囲において、端から中央に近づくにつれて徐々に減少する面積を有している。

【0060】可動板102は、2.2mmの長さ、2.※50

※7mmの幅、0.3mmの厚さを有している。可動板102の材質はシリコンである。トーションバー104は一端と他端を有しており、一端は可動板102の一方の表面に幅の辺の中央に連結されており、他端は固定部材106に連結されている。トーションバー104は、1.0mmの長さ、8.0μmの一定の厚さを有している。これらは第一実施形態と同じである。

【0061】トーションバー104は、可動板102および固定部材106と連結されている両端において最も広い0.55mmの幅を有し、中央付近の0.3mmの区間においては最も狭い0.15mmの幅を有している。トーションバー104の幅は、中央付近の0.3mmの区間では一定であり、両端から0.35mmの区間では、端から中央に近づくにつれて直線的に減少している。トーションバー104の材質はポリイミドであり、30.6GPaのヤング率を有している。このアクチュエータは、トーションバー104を軸とするねじり運動に関して、100Hzの固有振動数を有している。

【0062】このアクチュエータに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を図12に示す。解析は、このアクチュエータの可動板102の中央にxyz軸の3方向に等しく0.001Nの荷重が加わっているという条件のもとで行なった。図12において、実線は、本実施形態のアクチュエータに関するフォンミーゼスの応力を示し、破線は、比較例として、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエータに関するフォンミーゼスの応力を示している。

【0063】図12から分かるように、フォンミーゼスの応力は、両端と中央の間に一対のピークを有し、その最大値は $7.6 \times 10^7$  [Pa]に低下している。これから、本実施形態のアクチュエータでは、図25に代表される弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエータと比較して、トーションバー104は同じねじり剛性を維持しながら、それに働く応力が分散されていることが分かる。

【0064】図14は、弾性部材の断面積一定の部分の長さが異なる複数のアクチュエータに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。計算は、アクチュエータは全て同じ可動板を有するものとし、弾性部材のねじり変形の固有値もほぼ同じとなる条

件で行なった。また、弾性部材の断面は矩形とし、厚さは一定、幅は図11のアクチュエータと同様の変化をするものとしている。表3にシミュレーションした弾性部材の寸法を示す。表中の値は、図13に示される形状の\*

\*弾性部材における、ストレート部の長さ、中央部の幅と、両端部の幅とを一覧に示している。

【0065】

【表3】

ストレート部の長さ [mm]	中央部の幅 [mm]	両端部の幅 [mm]
0.3	0.15	0.55
0.5	0.184	0.55
0.7	0.2075	0.55
0.9	0.22	0.55

【0066】図14から、ストレート部の長さが全体長さの2分の1以下のアクチュエータにおいて応力が全体的に平均化され、最大値が下がることが分かる。ストレート部の長さが全体の長さの7割以上の場合には、断面積が変化している部分と、断面積一定の部分との境界部分において、返って応力が増加していることが分かる。

【0067】従って、本実施形態のアクチュエーターは、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエーターに比べて、トーションバーに働く応力が分散されるので耐衝撃性が向上しており、落下等の衝撃に対して破損し難いものとなっている。

#### 【0068】第四実施形態

第四実施形態のアクチュエーターについて図15ないし図19を参照しながら説明する。本実施形態のアクチュエーターは、弾性部材がねじりバネすなわちトーションバーとして働くねじりアクチュエーターである。

【0069】図15に示されるように、アクチュエーターは、可動板102と、これを支持するための一対の弾性部材であるトーションバー104と、トーションバー104を保持する一対の固定部材106とを備えている。一対のトーションバー104は、可動板102の両側から対称的に直線的に伸び、固定部材106で終端している。つまり、トーションバー104の各々は、可動板102と固定部材106の間に伸びている。

【0070】本実施形態のアクチュエーターでは、トーションバー104は、一定の幅を有しているが、図16に示されるように、両端付近の一定区間では厚く、中央付近の一定区間では薄く、段階的に変化する厚さを有している。従って、トーションバー104の断面は、中央付近の一定区間内において小さい矩形の形状を有し、両端付近の一定区間内では大きい矩形の形状を有している。つまり、トーションバー104は、長手軸に沿った位置に依存して厚さが段階的に変化する矩形の断面を有している。従って、トーションバー104の断面は、端から中央に近づく間において段階的に変化する面積を有している。

【0071】可動板102は、2.2mmの長さ、2.7mmの幅、0.3mmの厚さを有している。可動板102の材質はシリコンである。トーションバー104は一端と他端を有しており、一端は可動板102の一方の表面に幅の辺の中央に連結されており、他端は固定部材※50

10※106に連結されている。トーションバー104は、

1.0mmの長さを有している。これらは第一実施形態と同じである。

【0072】トーションバー104は、0.3mmの一定の幅を有しており、可動板102および固定部材106と連結されている両端から0.28mmの区間においては9.4μmの厚さを有し、中央付近の0.44mmの区間においては6.0μmの厚さを有している。トーションバー104の材質はポリイミドであり、30.6GPaのヤング率を有している。このアクチュエーターは、トーションバー104を軸とするねじり運動に関して、99Hzの固有振動数を有している。

【0073】このアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を図17に示す。解析は、このアクチュエーターの可動板102の中央にxyz軸の3方向に等しく0.001Nの荷重が加わっているという条件のもとで行なった。図17において、実線は、本実施形態のアクチュエーターに関するフォンミーゼスの応力を示し、破線は、比較例として、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエーターに関するフォンミーゼスの応力を示している。

【0074】図17から分かるように、フォンミーゼスの応力は、両端と中央の間に一対のピークを有し、その最大値は $7.6 \times 10^7$  [Pa]に低下している。これから、本実施形態のアクチュエーターでは、図25に代表される弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエーターと比較して、トーションバー104は同じねじり剛性を維持しながら、それに働く応力が分散されていることが分かる。

【0075】図19は、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が異なる複数のアクチュエータに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。計算は、アクチュエータは全て同じ可動板を有するものとし、弾性部材のねじり変形の固有値もほぼ同じとなる条件で行なった。また、弾性部材の断面は矩形とし、幅は一定、厚さは図15のアクチュエータと同様の変化をするものとしている。表4にシミュレーションした弾性部材の寸法を示す。表中の値は、図18に示される形状の弾性部材における、中央部の厚さと、両端部の厚さと、これらの断面積比とを一覧に示している。

【0076】



【表4】

断面積比	両端部の厚さ [ $\mu\text{m}$ ]	中央部の厚さ [ $\mu\text{m}$ ]
4. 4	21. 9	5
1. 5	9. 26	6
1. 3	8. 207	6. 5
1	7. 5	7. 5

【0077】図19から、弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が大きくなるにつれて、両端における応力が低下し、全体的に平均化され、最大値が下がることが分かる。また、1. 3以上の断面積比を有するアクチュエータにおいては、一定の断面積を有するアクチュエータに較べて、2割以上の応力の低下が実現されていることが理解できよう。

【0078】従って、本実施形態のアクチュエーターは、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエーターに比べて、トーションバーに働く応力が分散されるので耐衝撃性が向上しており、落下等の衝撃に対して破損し難いものとなっている。

【0079】第五実施形態

第五実施形態のアクチュエーターについて図20を参照しながら説明する。本実施形態のアクチュエーターは、弾性部材が曲げバネとして働くアクチュエーターである。

【0080】図20に示されるように、アクチュエーターは、可動板102と、これを支持するための一対の弾性部材である曲げバネ104と、曲げバネ104を保持する一対の固定部材106とを備えている。一対の曲げバネ104は可動板102から両側に対称的に直線的に延びている。

【0081】本実施形態のアクチュエーターでは、曲げバネ104は、一定の厚さを有し、両端において最も大きく、中央において最も小さく、両端から中央に近づくにつれて直線的に減少する幅を有している。従って、曲げバネ104の断面は、長手軸に沿った位置に依存して幅が変化する矩形の形状を有しており、その面積は、長手軸に沿った位置に依存して連続的に変化する。トーションバー104の断面は、トーションバー104の長さの半分の範囲において、端から中央に近づくにつれて徐々に減少する面積を有している。

【0082】可動板102は、2. 4mmの長さ、2. 9mmの幅、0. 1mmの厚さを有している。曲げバネ104は一端と他端を有しており、一端は可動板102の一方の表面に幅の辺の中央に連結されており、他端は固定部材106に連結されている。曲げバネ104と可動板102と固定部材106は、いずれも材質がシリコンであり、一枚のシリコンウェハから一体的に作られ、いずれも同じ0. 1mmの厚さを有している。曲げバネ104は、1. 0mmの長さを有し、可動板102および固定部材106と連結されている両端において最も広

\*い62. 4 $\mu\text{m}$ の幅を有し、両端の中央において最も狭い10 $\mu\text{m}$ の幅を有している。曲げバネ104の材質のシリコンは、190GPaのヤング率を有している。可動板102は、図中の往復矢印で示される方向に並進往復運動をする。

【0083】本実施形態のアクチュエーターにおいても、上述した実施形態と同様に、弾性部材の断面積が一定の通常のアクチュエーターに比べて、曲げバネに働く応力が分散されるので耐衝撃性が向上しており、落下等の衝撃に対して破損し難いものとなっている。

【0084】これまで、いくつかの実施の形態について図面を参照しながら具体的に説明したが、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で行なわれるすべての実施を含む。

【0085】1. 可動板、固定部材、前記可動板を前記固定部材に対して支持する弾性部材とを備えたアクチュエーターにおいて、前記弾性部材は、その断面積が弾性部材の軸方向における両端部で大きく、中央部で相対的に小さいことを特徴とするアクチュエーター。

【0086】(作用効果) フォンミーゼスの応力に対しては曲げ応力が支配的であるため、弾性部材両端部の断面積を相対的に大きくして断面係数を大きくし、逆に弾性部材中央部の断面積を相対的に小さくして断面係数を小さくすることにより、曲げ応力を平均化でき、フォンミーゼスの応力を平均化し最大値を下げるができる。従って、効果として衝撃荷重に強いアクチュエーターを実現できる。

【0087】2. 前記弾性部材の断面積が弾性部材の軸方向に沿って連続的に変化していることを特徴とする第1項に記載のアクチュエーター。

【0088】(作用効果) 本アクチュエーターは、第1項の作用効果に加え、断面積が連続的に変化しているため、弾性部材部のフォンミーゼスの応力をよりスムーズに平均化できるという効果を有する。

【0089】3. 前記弾性部材は前記可動板表面に垂直な方向の厚みが中央部付近で薄くなるよう不連続に変化していることを特徴とする第1項に記載のアクチュエーター。

【0090】(作用効果) 本アクチュエーターは、第1項の作用効果に加え、断面積が不連続的に変化しているため、製作が容易である。

【0091】4. 前記弾性部材の断面積が最も大きい部分の断面積が、断面積が最も小さい部分の断面積の

1. 5倍以上であることを特徴とする第1項に記載のアクチュエーター。

【0092】(作用効果) 断面積比が1. 5以上であれば、応力の2割以上の低減効果が得られる。

【0093】5. 弾性部材の断面積が変化しない部分があり、その部分の軸方向の寸法が、弾性部材全体の軸方向の寸法の2分の1以下であることを特徴とする第1項に記載のアクチュエーター。

【0094】(作用効果) 弾性部材の断面積が変化しない部分を設けることにより、弾性部材の断面積の最も小さい部分の面積を大きくすることができる。そうすることにより、弾性部材をかなり大きくねじり動作させて用いるアクチュエーターの場合、動作時に加わるねじり応力に対しても強くすることができる。

【0095】

【発明の効果】本発明によれば、弾性部材を、長手軸方向の位置によらず一定の断面積を有する従来の形状から、長手軸方向の位置に対応して変化する断面積を有する新規な形状に変更して、弾性部材に働く応力を分散させることにより、落下等による衝撃荷重に対して破損し

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による第一実施形態のアクチュエーターの平面図である。

【図2】図1に示されるアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を示すグラフである。

【図3】図1に示されるアクチュエーターの弾性部材を拡大して示している。

【図4】弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が異なる複数のアクチュエーターに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。

【図5】トーションバーの固定部に角Rを設けた従来の光スキャナを示している。

【図6】角Rを設けた従来の光スキャナと本実施の形態に係るアクチュエーターに対して、シミュレーションにより求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。

【図7】本発明による第二実施形態のアクチュエーターの平面図である。

【図8】図7に示されるアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を示すグラフである。

【図9】図7に示されるアクチュエーターの弾性部材を拡大して示している。

【図10】弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が異なる複数のアクチュエーターに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。

【図11】本発明による第三実施形態のアクチュエーターの平面図である。

【図12】図11に示されるアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を示すグラフである。

【図13】図11に示されるアクチュエーターの弾性部材を拡大して示している。

【図14】弾性部材の断面積一定の部分の長さが異なる複数のアクチュエーターに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。

【図15】本発明による第四実施形態のアクチュエーターの平面図である。

【図16】本発明による第四実施形態のアクチュエーターの側面図である。

【図17】図15に示されるアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を示すグラフである。

【図18】図16に示されるアクチュエーターの弾性部材を拡大して示している。

【図19】弾性部材の断面積の最大値と最小値の比が異なる複数のアクチュエーターに対して、計算により求めたフォンミーゼスの応力のグラフである。

【図20】本発明による第五実施形態のアクチュエーターの平面図である。

【図21】光スキャナ等に用いられる従来のアクチュエーターの基本構造を示している。

【図22】可動板の表面を水平にして床に落下したアクチュエーターの変形の様子を示している。

【図23】弾性部材の軸方向を垂直にして床に落下したアクチュエーターの変形の様子を示している。

【図24】弾性部材の軸を水平に、可動板の面を垂直にして床に落下したアクチュエーターの変形の様子を示している。

【図25】通常のアクチュエーターの平面図である。

【図26】図25に示されるアクチュエーターに対して、シミュレーションによりフォンミーゼスの応力を解析した結果を示すグラフである。

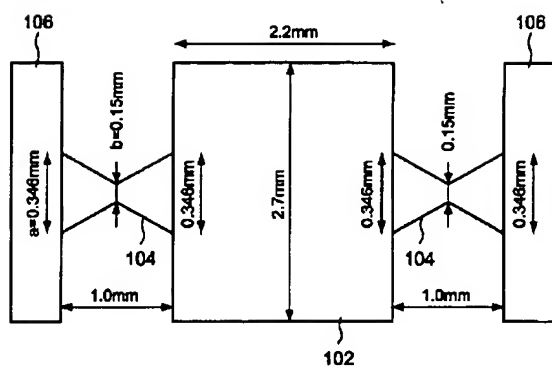
【符号の説明】

102 可動板

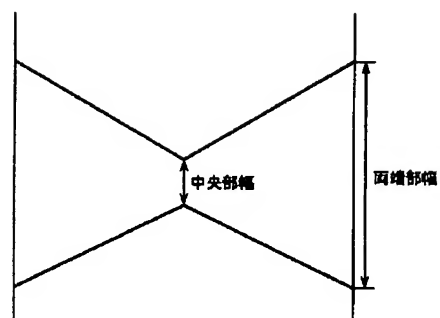
104 トーションバー

106 固定部材

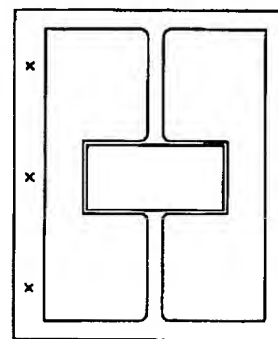
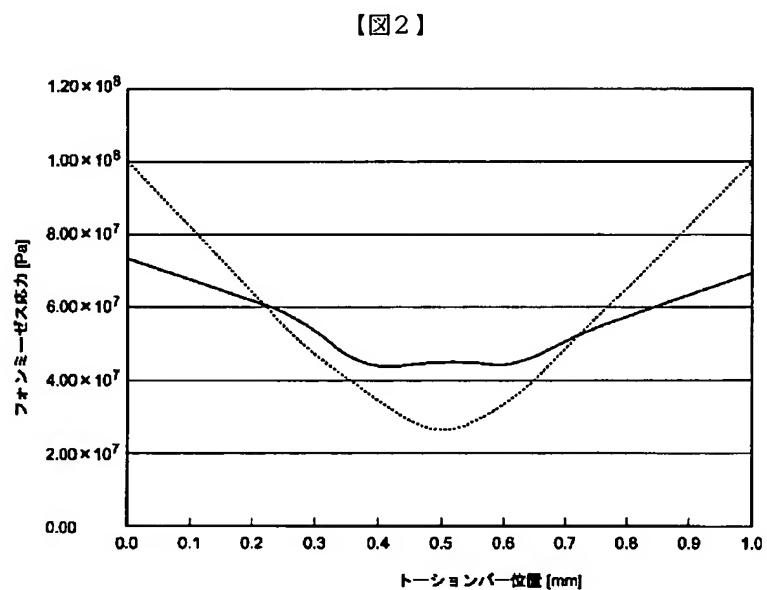
【図1】



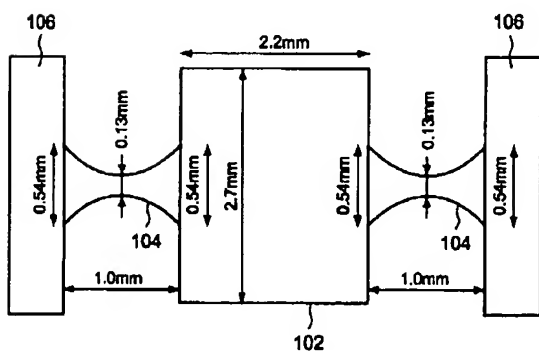
【図3】



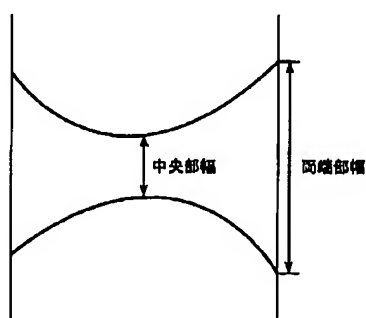
【図5】



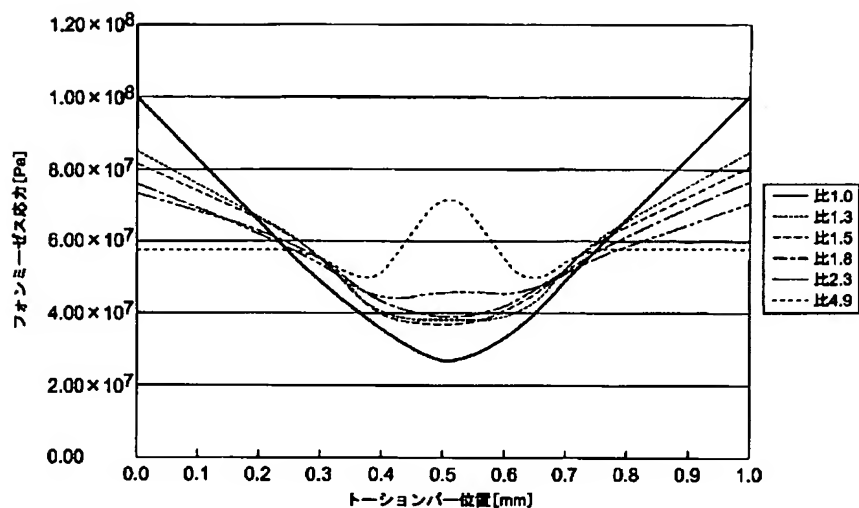
【図7】



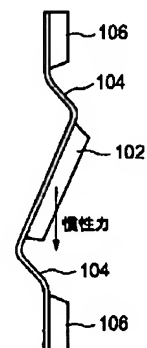
【図9】



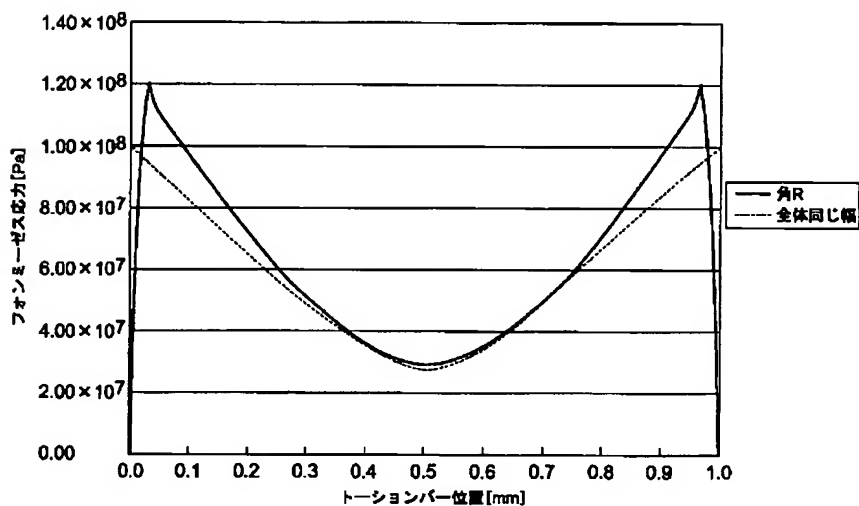
【図4】



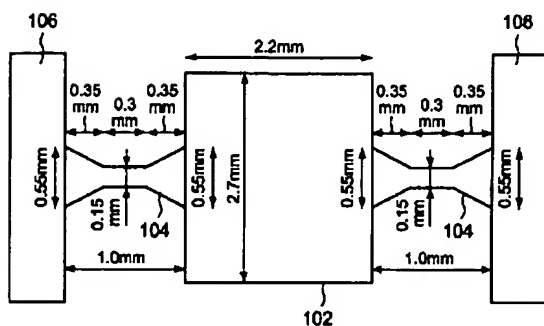
【図23】



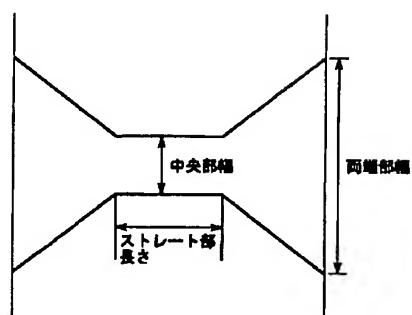
【図6】



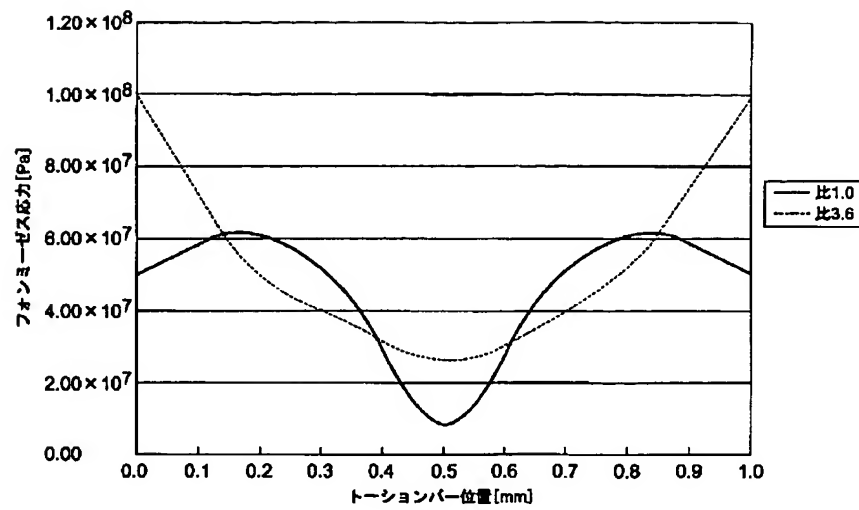
【図11】



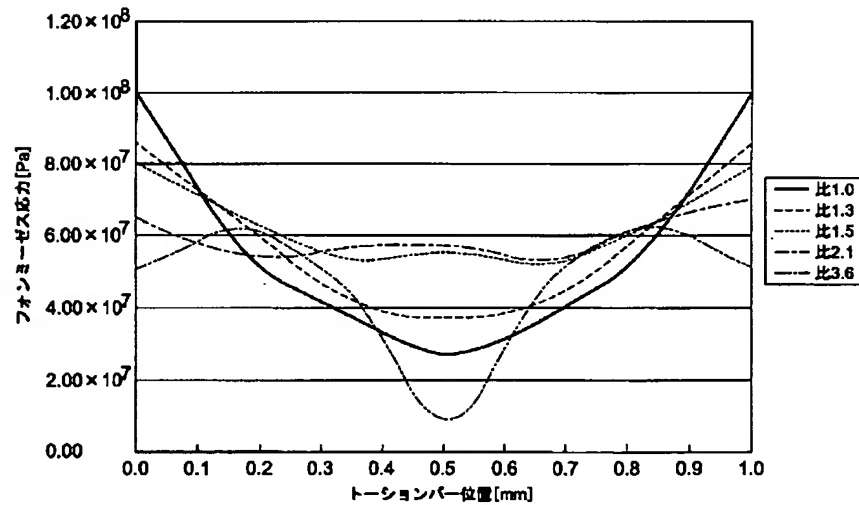
【図13】



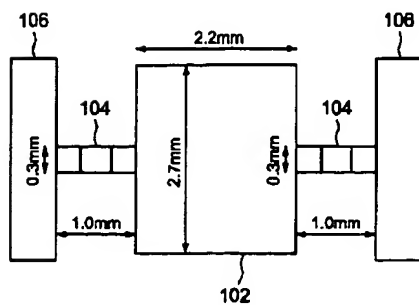
【図8】



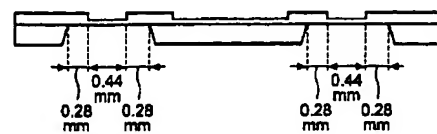
【図10】



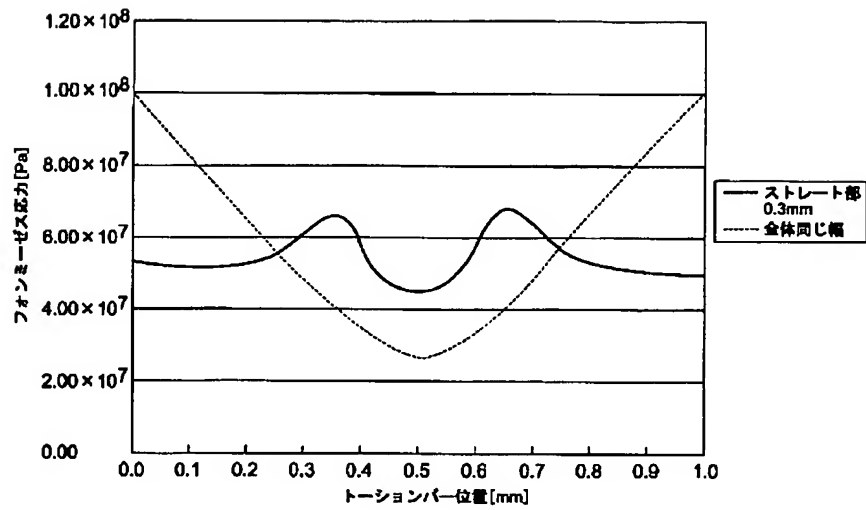
【図15】



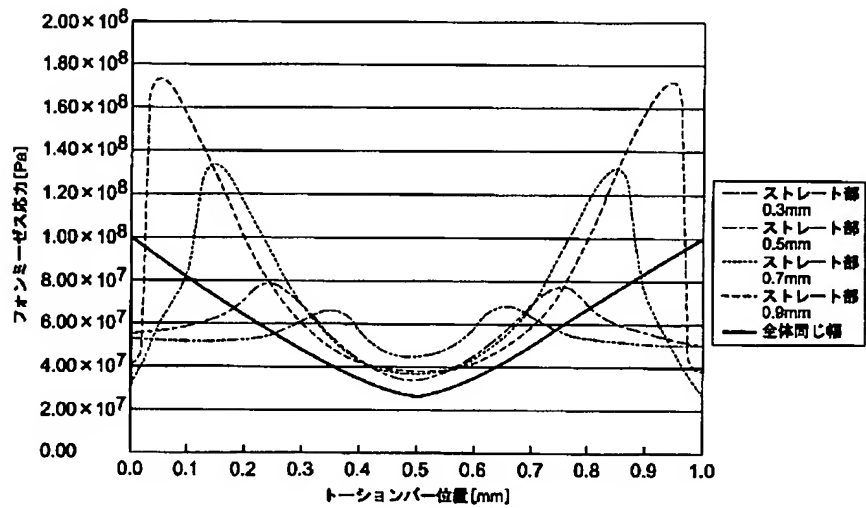
【図16】



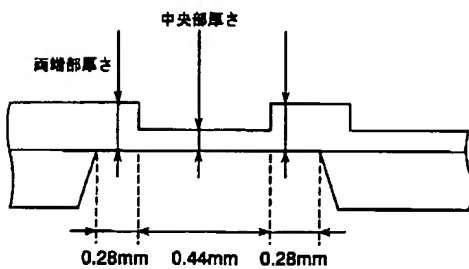
【図12】



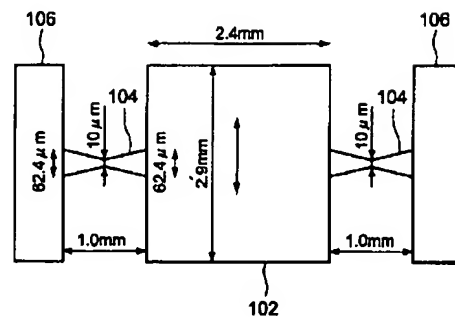
【図14】



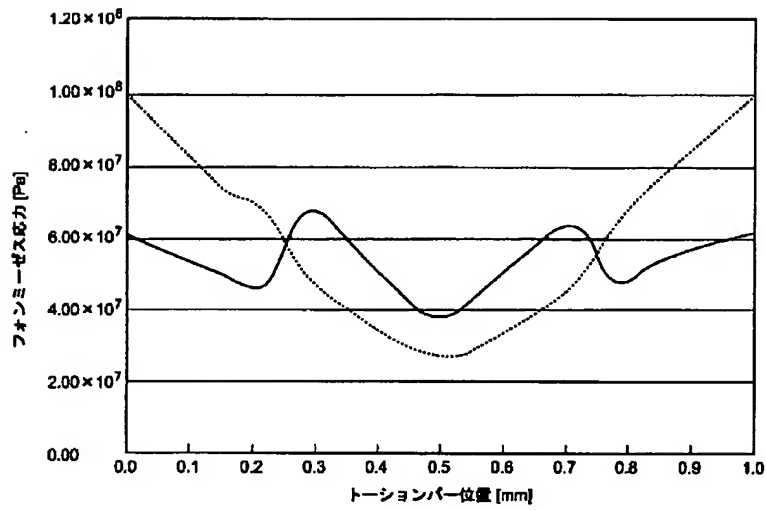
【図18】



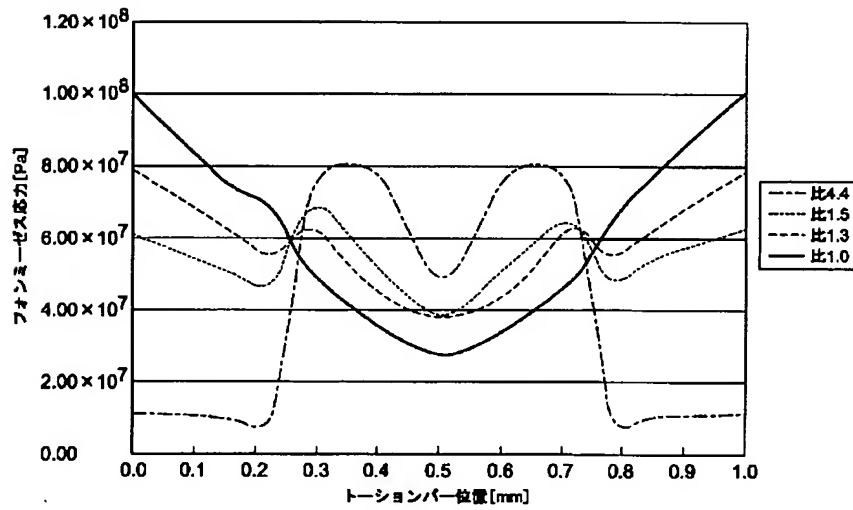
【図20】



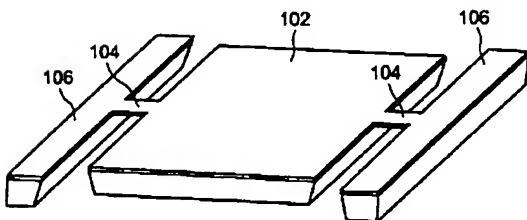
【図17】



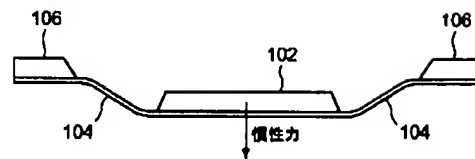
【図19】



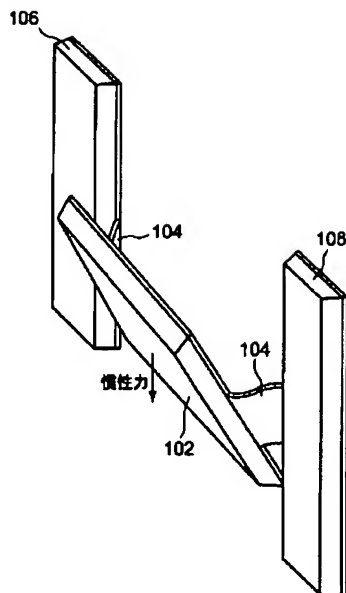
【図21】



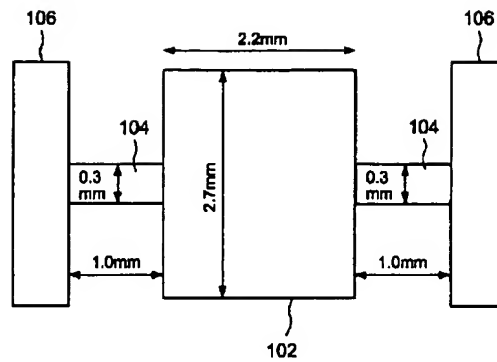
【図22】



【図24】



【図25】



【図26】

